

# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 103 43 876.9

**Anmeldetag:** 23. September 2003

**Anmelder/Inhaber:** Leica Microsystems Semiconductor GmbH,  
35578 Wetzlar/DE;  
MueTec Automatisierte Mikroskopie und Meßtechnik  
GmbH, 80993 München/DE.

**Erstanmelder:** Leica Microsystems Semiconductor  
GmbH, 35578 Wetzlar/DE

**Bezeichnung:** Vorrichtung zur Messung von Strukturbreiten auf  
Masken für die Halbleiterindustrie

**IPC:** G 01 B, H 01 L, G 02 B

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 18. November 2004  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

Stanschus



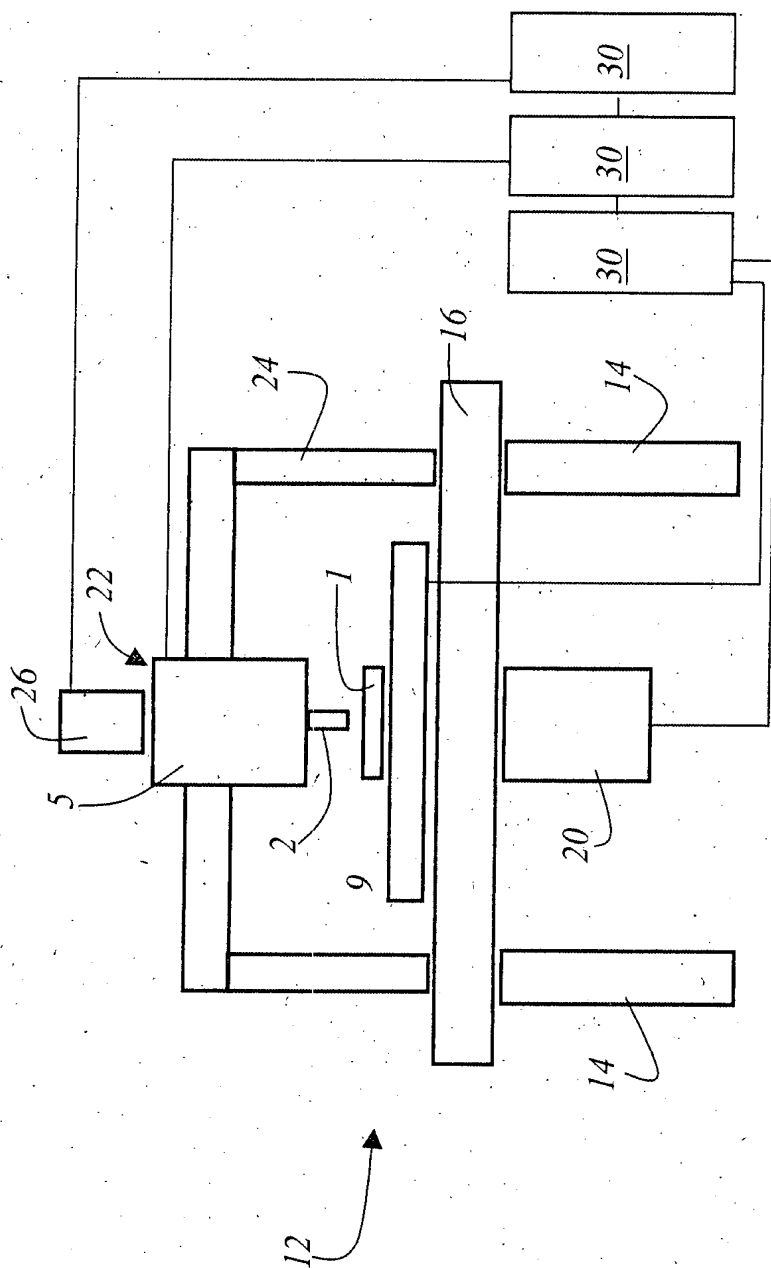
### Zusammenfassung

Es ist eine Vorrichtung zur Messung von Strukturbreiten auf Masken (1) für die Halbleiterindustrie offenbart. Die Vorrichtung umfasst eine Trägerplatte (16), die schwingungsentkoppelt in einem Grundgestell (14) gehalten ist, einem auf  
5 der Trägerplatte (16) angeordneten Scanning-Tisch (18), der eine zu vermessende Maske (1) trägt, wobei die Maske (1) eine Oberfläche (4) definiert, und einem gegenüber der Maske (1) angeordneten Objektiv (2). Eine Flüssigkeit (25) ist zwischen dem Objektiv (2) und der Oberfläche (4) der Maske (1) vorgesehen.

10

Fig. 2

Figur für Zusammenfassung



Vorrichtung zur Messung von Strukturbreiten auf Masken für die  
Halbleiterindustrie

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Messung von Strukturbreiten auf  
5 Masken für die Halbleiterindustrie.

Der etablierte Stand der Technik zur optischen Messung der Strukturbreiten  
auf Masken der Halbleiterindustrie, ist die Anwendung von Mikroskopen im  
visuellen (VIS), ultravioletten (UV) und tief-ultravioletten (DUV)  
Spektralbereich mit Trockenobjektiven. Trockenobjektive sind dadurch  
10 gekennzeichnet, dass sich zwischen Objekt und der dem Objekt unmittelbar  
benachbarten ersten optischen Fläche des Mikroskopobjektivs Luft befindet.  
Dadurch bedingt ist die theoretisch maximal mögliche Numerische Apertur  $NA = 1$ , in der Praxis sind bestenfalls Werte von  $NA \approx 0.95$  erreichbar und sind  
auch realisiert. Damit ist der Spielraum zu höheren Aperturen, d.h. zu höherer  
15 Auflösung ausgeschöpft.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde eine Vorrichtung zu schaffen, die  
die optische Strukturbreitenmessung auf Masken zu kleineren Strukturbreiten  
hin erweitert, als mit klassischer optischer Strukturbreitenmessung möglich ist.

Die Aufgabe wird durch ein System gelöst, das die Merkmale des Patentanspruchs 1 aufweist.

Die Vorrichtung zur Messung von Strukturbreiten auf Masken für die Halbleiterindustrie umfasst eine Trägerplatte, die schwingungsentkoppelt in  
5 einem Grundgestell gehalten ist.

Die Maske ist auf einen auf der Trägerplatte angeordneten Scanning-Tisch angeordnet. Die Maske weist eine Oberfläche auf, gegenüber der ein Objektiv positioniert ist. Eine Flüssigkeit ist zwischen dem Objektiv und der Oberfläche der Maske vorgesehen ist.

10 Dem Objektiv ist in einer Ausführungsform eine Feindosierdüse zugeordnet, die die Flüssigkeit ausschließlich auf mindestens eine auf der Oberfläche der Maske definierten Messstelle aufbringt.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung besitzt das Objektiv eine Einrichtung zum Aufbringen der Flüssigkeit ausschließlich auf  
15 mindestens eine auf der Oberfläche der Maske definierten Messstelle. Dabei kann die Einrichtung als ein Zylinder ausgebildet sein, der das Objektiv vollständig umschließt, wobei der Zylinder durch einen Zwischenraum vom Objektiv getrennt ist. In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung besteht die Einrichtung aus mindestens einer Leitung, die koaxial  
20 um den Umfang des Objektivs angeordnet ist.

Eine weitere Möglichkeit besteht darin, dass die Flüssigkeit die Oberfläche der Maske vollständig bedeckt. Dabei ist die Maske in einem speziellen Rahmen eingelegt und die Maske liegt auf einer speziellen, umlaufenden Dichtung auf.

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung können den  
25 Unteransprüchen entnommen werden.

In der Zeichnung ist der Erfindungsgegenstand schematisch dargestellt und wird anhand der Figuren nachfolgend beschrieben. Dabei zeigen:

Figur 1 eine schematische Darstellung eines Trockenobjektivs (gemäß dem Stand der Technik in Bezug zu einer Oberfläche mit zu vermessenden Strukturen);

5    Figur 2 eine schematische Darstellung einer Ausführungsform einer Vorrichtung zur Vermessung von Strukturbreiten;

10    Figur 3 eine schematische Darstellung einer ersten Ausführungsform eines Objektivs in räumlicher Beziehung zu den zu vermessenden Strukturbreiten auf der Oberfläche einer Maske für die Halbleiterfertigung, wobei eine Flüssigkeit zwischen dem Objektiv und der Oberfläche der Maske für die Halbleiterfertigung vorgesehen ist;

Figur 4 eine schematische Darstellung einer zweiten Ausführungsform eines Objektivs mit einer Einrichtung zum Aufbringen einer Flüssigkeit auf die Oberfläche einer Maske für die Halbleiterfertigung;

15    Figur 5a eine erste Ausführungsform der Einrichtung zum Aufbringen der Flüssigkeit;

Figur 5b eine zweite Ausführungsform der Einrichtung zum Aufbringen der Flüssigkeit; und

Figur 6 eine weitere Ausführungsform eines System zum Aufbringen einer Flüssigkeit auf die Oberfläche einer Maske für die Halbleiterfertigung.

20    Figur 1 zeigt eine schematische Darstellung eines Trockenobjektivs 2 (gemäß dem Stand der Technik) in Bezug zu einer Oberfläche 4 mit zu vermessenden Strukturen 4a. Unter der Vermessung von Strukturbreiten ist in diesem Zusammenhang gemeint, dass die Abbildung einer zu vermessenden Struktur 4a bzw. Linie auf einer Maske 1 für die Halbleiterproduktion mittels einer hoch  
25    auflösenden Optik auf die Empfängerfläche 5a einer CCD-Kamera 5 abgebildet wird. Die CCD-Kamera 5 nimmt das Intensitätsprofil des Linienbildes auf und durch eine geeignete Bildanalyse-Software wird daraus die Linienbreite der aufgenommenen Linienstruktur bestimmt. Somit ist es möglich jede Linie bzw. Struktur 4a auf der Maske 1 für die Halbleiterfertigung

einzelnen und individuell zu vermessen und die Linienbreite zu bestimmen. Die mit einer Optik 2 erzielbare Auflösung ist für die kleinste mit dem System noch messbare Linienbreite verantwortlich. Eine charakteristische und für das Auflösungsvermögen entscheidende Größe einer abbildenden Optik bzw. des  
5   Objektivs 2 kann durch die folgenden Gleichung bestimmt werden.

$$P_{12} > 0.25 \frac{\lambda}{NA}$$

Dabei ist  $P_{12}$  die kleinste noch auflösbare Linienbreite,  $\lambda$  die Wellenlänge des zur Beleuchtung verwendeten Lichts und  $NA$  die numerische Apertur der abbildenden Optik bzw. Objektivs 2. Die numerische Apertur ist ferner definiert  
10   als:  $NA = n \sin(\sigma)$ , wobei  $n$  die Brechzahl des Mediums 6 zwischen dem Objektiv 2 und Oberfläche 4 der Maske 1 ist. Das Objektiv 2 besteht in der Regel aus mehreren Linsen, so dass  $n$  die Brechzahl des Mediums 6 zwischen der einen Frontlinse 7 des Objektivs 2 und der Maske 1 ist.  $\sigma$  ist der  
15   halbe Öffnungswinkel des größten Lichtkegelwinkels 8, der – von einem Objektpunkt 9 ausgehend – in die Bildebene 10, also der Empfängerfläche 5a der CCD-Kamera 5 übertragen werden kann. Aus Figur 1 ist ersichtlich, dass der Aperturwinkel oder halbe Öffnungswinkel  $\sigma$  maximal 90 Grad und damit  $\sin(\sigma)$  maximal 1 sein kann. Auf Grund von einzuhaltenden  
20   Fertigungstoleranzen sind in der Praxis jedoch nur Werte von  $\sin(\sigma) \leq 0.95$  für Objektive für rein visuelle Beobachtung erreichbar. An ein Objektiv 2 für die Vermessung von Strukturen 4a sind noch höhere Fertigungsanforderungen einzuhalten, so dass dafür Werte von  $\sin(\sigma) \approx 0.90$  kaum überschritten werden können. Dies bedeutet, dass eine Steigerung der Auflösung durch Vergrößerung des Aperturwinkels nicht mehr möglich ist. Bei einer festen,  
25   vorgegebenen Wellenlänge  $\lambda$  geht dies nur noch durch eine Vergrößerung der Brechzahl  $n$ . Dies bedeutet, dass man ein Medium 6 zwischen der Oberfläche 4a der Maske 4 und der Frontlinse 7 des Objektivs 2 verwendet, das eine gegenüber Luft erhöhte Brechzahl aufweist.

Figur 2 zeigt eine schematische Darstellung einer Ausführungsform einer Vorrichtung 12 zur Vermessung von Linienbreiten von Strukturen 4a auf der Oberfläche 4 einer Maske 1. Die Vorrichtung 12 besteht aus einem Grundgestell 14, in dem eine Trägerplatte 16 schwingungsentkoppelt gehalten ist. Auf der Trägerplatte 16 ist ein Scanning-Tisch 18 angeordnet, der die zu vermessende Maske 1 trägt. In der hier dargestellten Ausführungsform wird die Maske 1 von einer Durchlichtbeleuchtungseinheit 20 durchleuchtet. Eine abbildende Mikroskopeinheit 22 ist über der Maske 1 angeordnet. Die abbildende Mikroskopeinheit 22 ist in einer Trägereinheit 24 gehalten, die selbst starr mit der Trägerplatte 16 verbunden ist. An der abbildenden Mikroskopeinheit 22 ist das Objektiv 2 derart angeordnet, dass es sich gegenüber der Maske 1 befindet. Das von dem Objektiv 2 aufgenommene Bild der Maske 1 wird auf die CCD-Kamera 5 abgebildet. Die Fokussierung kann entweder über eine Höhenverstellung des Scanning-Tisches 18 oder über eine in der Mikroskopeinheit 22 integrierte Höhenverstellung des Objektivs 2 erfolgen. Zusätzlich zu der Durchlichtbeleuchtungseinheit 20 kann als internes oder externes Bauteil der Mikroskopeinheit 22 eine Auflichtbeleuchtungseinheit 26 vorgesehen sein. Die Vorrichtung 12 umfasst ferner mehrere Elektronikeinheiten 30, wie z.B. Tischsteuerung, CCD-Ausleseseinheit sowie einen PC zur Auswertung und Bedienung.

Figur 3 zeigt eine schematische Darstellung einer ersten Ausführungsform eines Objektivs 2 in räumlicher Beziehung zu den zu vermessenden Breiten der Strukturen 4a auf der Oberfläche 4 einer Maske 1 für die Halbleiterfertigung. Die Erfindung macht sich zunutze, dass die Verwendung von Flüssigkeiten 25 („Immersionsmittel“) zwischen der Maske 1 und dem Objektiv 2 eine Steigerung der effektiven („Numerischen“) Apertur NA über den Wert 1 hinaus möglich macht und damit zu einer höheren Auflösung führt. Die Numerische Apertur NA ergibt sich aus der Multiplikation der Brechzahl  $n$  der Immersion mit dem Sinus des Öffnungswinkels  $\sigma$ :  $NA := n \times \sin(\sigma)$ . Zwischen NA und der kleinsten auflösbaren Strukturbreite  $\Delta$  besteht die Beziehung  $P_{1/2} > 0.25 \times \lambda / NA$ , wobei  $\lambda$  die Wellenlänge des Lichtes ist. Für Luft ist  $n = 1$  (siehe Fig. 1, Stand der Technik), bei Verwendung von



Flüssigkeiten 25 sind Brechzahlen  $n > 1.2$  möglich, so dass damit eine proportionale Steigerung des Auflösungsvermögens erreicht wird.

Die Verwendung von Flüssigkeiten 25 bei der Vermessung von Masken galt nach Stand der Technik wegen der Gefahr der Verunreinigung der Maske 1 als Tabu. Aus diesem Grunde wurde dieser Lösungsansatz zu höherer Auflösung bisher nicht verfolgt, bzw. wurde allgemein als unakzeptabel bei der Suche nach neuen Lösungen höherer Auflösung ausgeschlossen.

Eine Möglichkeit für die Flüssigkeit 25 als Immersionsmittel ist Wasser. Das Objektiv 2 ist vorzugsweise für den tief ultravioletten Spektralbereich (DUV) bei einer Wellenlänge unterhalb 300nm z.B. 248nm, ausgebildet. Ebenso kann das Objektiv 2 für spezielle Anwendungen aber auch für Wellenlängen größer 300nm ausgebildet werden. Neben Wasser als ideales Immersionsmittel können auch andere Flüssigkeiten, wie z.B. inerte Öle, wie z.B. Fomblin® ein Perfluor-Polyäther-Öle, verwendet werden

In dem hier beschriebenen Lösungsansatz ist eine Flüssigkeit 25 zwischen dem Objektiv 2 und der Oberfläche 4 der Maske 1 für die Halbleiterfertigung vorgesehen. Die Flüssigkeit 25 benetzt sowohl die Oberfläche 4 der Maske 1 als auch die Frontlinse 7 des Objektivs 2. Die Flüssigkeit kann dabei nur gezielt und lokal an der Messstelle 28 der Maske 1 aufgebracht werden, die gerade vermessen werden soll; alternativ ist aber auch eine Benetzung der gesamten Maskenoberfläche 4 denkbar. In Fig. 3 ist eine erste Möglichkeit des gezielten Aufbringens dargestellt. Zum gezielten Aufbringen ist in unmittelbarer Nachbarschaft des Objektivs 2 eine Feindosierdüse 27 vorgesehen. Die Messstelle 28 der Maske 1 ist dabei immer in unmittelbarer Nachbarschaft zu einer durch das Objektiv 2 definierten optischen Achse 31, das heißt im Sehfeld des Objektivs 2 positioniert. In der Regel ist der Abstand zwischen der Maske 1 und dem Objektiv 2 nicht groß genug, um mit der Düse die Flüssigkeit 25 gezielt an der Messstelle 28 aufzubringen. In diesem Fall wird zunächst die Messstelle 28 unter der Spitze 27a der Feindosierdüse 27 positioniert. Dann wird ein Tropfen der Flüssigkeit 25 auf die Messstelle 28 aufgebracht. Mit dem Scanning-Tisch 20 wird die Maske 1 dann derart verfahren, dass sich der Flüssigkeitstropfen und somit die Messstelle 28 unter

dem Objektiv 2 befindet. Das Objektiv 2 wird abgesenkt oder alternativ die Maske 2 angehoben, damit auch die Frontlinse 7 des Objektivs von der Flüssigkeit 25 benetzt ist.

Figur 4 zeigt eine schematische Darstellung einer zweiten Ausführungsform eines Objektivs 2 mit einer Einrichtung 33 zum Aufbringen der Flüssigkeit 25 auf die Oberfläche 4 der Maske 1 für die Halbleiterfertigung. Symmetrisch um die optische Achse 31 des Objektivs 2 ist die Einrichtung 33 zum Aufbringen der Flüssigkeit 25 angeordnet. Wie in Figur 5a dargestellt, ist die Einrichtung 33 als Zylinder 35 ausgebildet, der das Objektiv 2 vollständig umschließt. Der Zylinder 35 besitzt einen größeren Durchmesser als das Objektiv 2, so dass ein Zwischenraum 36 ausgebildet ist. Durch den Zwischenraum 36 wird die Flüssigkeit 25 zu der Messstelle 28 transportiert. In Figur 5b ist die Einrichtung 33 zum Aufbringen der Flüssigkeit 25 als mindestens eine Leitung 38 ausgebildet. Eine oder mehrere Leitungen 38 sind coaxial um den Umfang des Objektivs 2 angeordnet. Durch die eine oder die mehreren Leitungen 38 wird die Flüssigkeit 25 in geeigneter Weise auf die Oberfläche 4 der Maske 1 aufgebracht.

Figur 6 zeigt eine weitere Ausführungsform eines System zum Aufbringen einer Flüssigkeit 25 auf die Oberfläche 4 einer Maske 1 für die Halbleiterfertigung. Die Flüssigkeit 25 ist in dieser Ausführungsform für die Messung über die gesamte Oberfläche 4 der Maske 1 verteilt. Hierzu ist die Maske 1 in einem speziellen Rahmen 40 eingelegt. Die Maske 1 liegt dabei auf einer speziellen, umlaufenden Dichtung 41, so dass die Flüssigkeit 25 vollständig auf der Oberfläche 4 der Maske 1 verteilt ist und sicher im Rahmen 40 gehalten ist. Die Dichtung 41 besteht z.B. aus Teflon.

Die Erfindung wurde unter Berücksichtigung der bevorzugten Ausführungsbeispiele beschrieben. Es ist für einen Fachmann selbstverständlich, dass Änderungen und Abwandlungen durchgeführt werden können, ohne den Schutzbereich der nachstehenden Ansprüche zu verlassen.

Bezugszeichenliste

	1	Maske
	2	Trockenobjektivs
	4	Oberfläche
5	4a	Struktur
	5	Auflichtbeleuchtungseinheit
	5a	Empfängerfläche
	6	Medium
	7	Frontlinse
10	8	Lichtkegelwinkel
	9	Objektpunkt
	10	Bildebene
	12	Vorrichtung
	14	Grundgestell
15	16	Trägerplatte
	18	Scanning-Tisch
	20	Durchlichtbeleuchtungseinheit
	22	Mikroskopeinheit
	24	Trägereinheit
20	25	Flüssigkeit
	26	CCD-Kamera
	27	Feindosierdüse
	27a	Spitze

- 28 Messstelle
- 30 Elektroneinheiten
- 31 optische Achse
- 33 Einrichtung
- 5 35 Zylinder
- 36 Zwischenraum
- 38 Leitung
- 40 Rahmen
- 41 Dichtung

10  $\sigma$

### Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Messung von Strukturbreiten auf Masken (1) für die Halbleiterindustrie mit einer Trägerplatte (16), die schwingungsentkoppelt in einem Grundgestell (14) gehalten ist, einem auf der Trägerplatte (16) angeordneten Scanning-Tisch (18), der eine zu vermessende Maske (1) trägt, wobei die Maske (1) eine Oberfläche (4) definiert, und einem gegenüber der Maske (1) angeordneten Objektiv (2), dadurch gekennzeichnet, dass eine Flüssigkeit (25) zwischen dem Objektiv (2) und der Oberfläche (4) der Maske (1) vorgesehen ist.

5  
10
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass dem Objektiv (2) eine Feindosierdüse (27) zugeordnet ist, die die Flüssigkeit (25) ausschließlich auf mindestens eine auf der Oberfläche (4) der Maske (1) definierten Messstelle (28) aufbringt.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Objektiv (2) eine Einrichtung (33) zum Aufbringen der Flüssigkeit (25) ausschließlich auf mindestens eine auf der Oberfläche (4) der Maske (1) definierten Messstelle (28) integriert hat.

15
4. Vorrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Einrichtung (33) als ein Zylinder (35) ausgebildet ist, der das Objektiv (2) vollständig umschließt, und dass der Zylinder (35) durch einen Zwischenraum (36) vom Objektiv (2) getrennt ist.

20

5. Vorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Flüssigkeit (25) durch den Zwischenraum (36) die Flüssigkeit (25) zu der Messstelle (28) transportierbar ist.
- 5 6. Vorrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Einrichtung (33) mindestens eine Leitung (38) umfasst, die koaxial zum Umfang des Objektivs (2) angeordnet ist.
7. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Flüssigkeit (25) durch die eine oder die mehreren Leitungen (38) zu der Messstelle (28) transportierbar ist.
- 10 8. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Flüssigkeit (25) die Oberfläche (4) der Maske (1) vollständig bedeckt.
- 15 9. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Maske (1) in einem speziellen Rahmen (40) eingelegt ist, und dass die Maske (1) dabei auf einer speziellen, umlaufenden Dichtung (41) aufliegt.
10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass eine Frontlinse (7) des Objektivs (2) mit der Flüssigkeit (25) benetzt ist.
- 20 11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass Objektiv (2) für Wellenlängen des Beleuchtungslichts von kleiner als 300nm ausgebildet ist.
- 25 12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Flüssigkeit (25) Wasser oder ein inertes Öl ist.

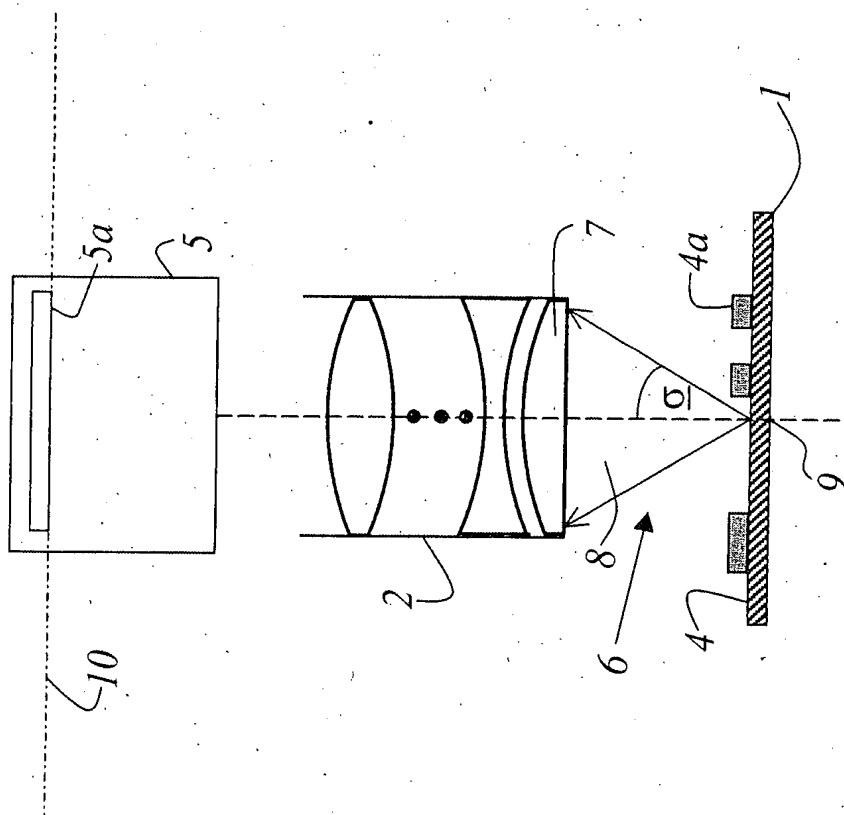


Fig. 1

Stand der Technik

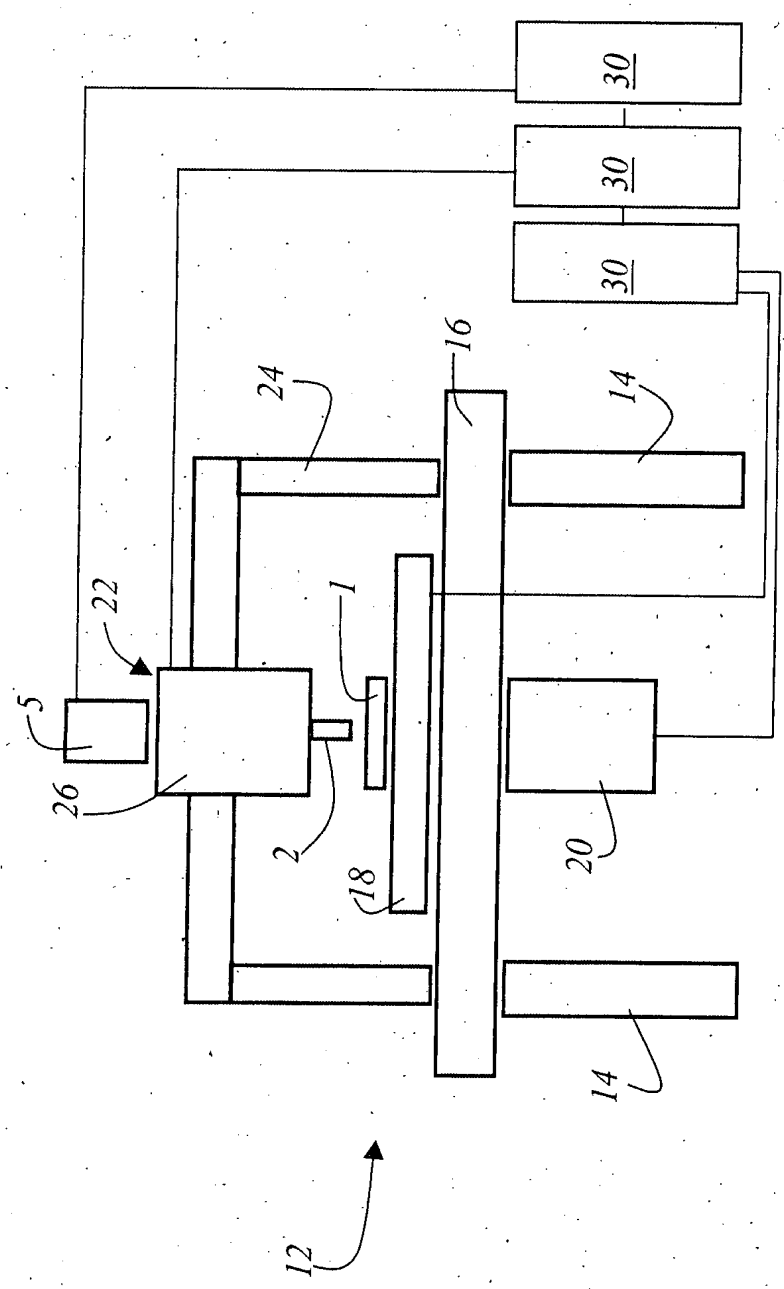


Fig. 2



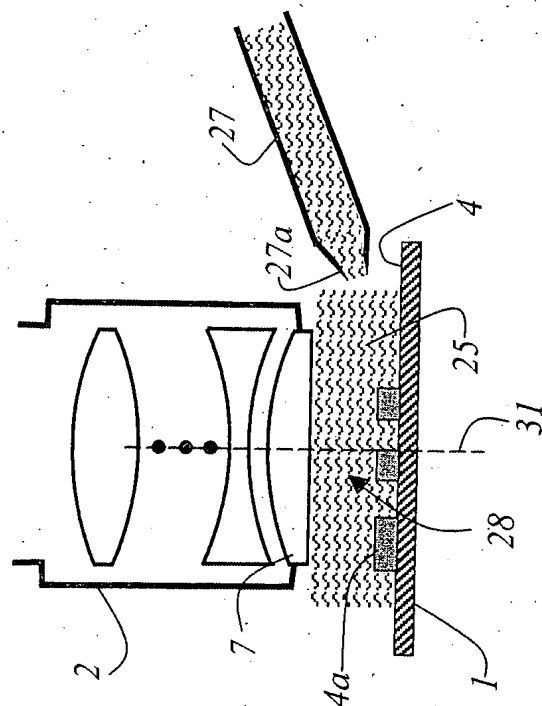


Fig. 3

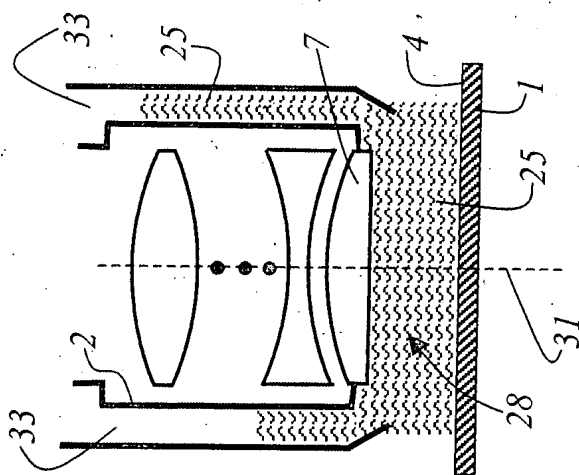


Fig. 4

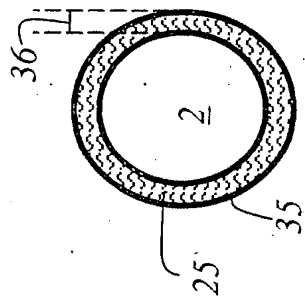


Fig. 5a

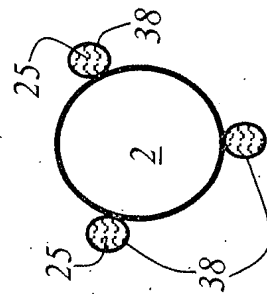


Fig. 5b

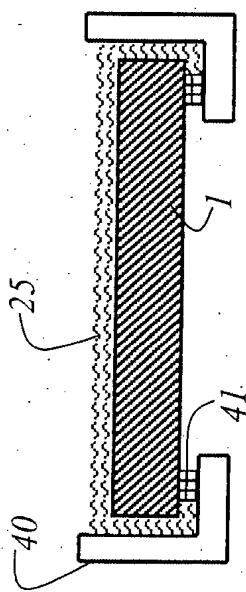


Fig. 6